



## Validering af eksisterende dimensionspraksis for LAR-anlæg ved hjælp af langtidssimuleringer

Arnbjerg-Nielsen, Karsten; Sørup, Hjalte Jomo Danielsen

*Published in:*  
EVA : Erfaringsudveksling i vandmiljøteknikken

*Publication date:*  
2019

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Arnbjerg-Nielsen, K., & Sørup, H. J. D. (2019). Validering af eksisterende dimensionspraksis for LAR-anlæg ved hjælp af langtidssimuleringer. *EVA : Erfaringsudveksling i vandmiljøteknikken*, 32(1), 16-22.

---

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.





SPILDEVANDSKOMITEEN

# ERFARINGSUDVEKSLING I VANDMILJØTEKNIKKEN **EVA**

NR. 1 • 32. ÅRGANG • JANUAR 2019



# Adresseliste for udvalgsmedlemmer

---

**Jakob Badsberg Larsen**

Niras A/S  
Sortemosevej 19, 3450 Allerød  
e-mail: jla@niras.dk  
Tlf. 4810 4561, Mobil 2141 8335

**Agnethe Nedergaard Pedersen**

VandCenter Syd as  
Vandværksvej 7, 5000 Odense C  
e-mail: anp@vandcenter.dk  
Tlf. 6114 9310

**Kjartan Gunnarsson Ravn**

Vejle Spildevand A/S  
Toldbodvej 20, 7100 Vejle  
e-mail: kjara@vejlespildevand.dk  
Tlf. 5118 1415

**Tina Kristensen Nettelfield**

EnviDan A/S  
Vejlsøvej 23, 8600 Silkeborg  
e-mail: tkn@envidan.dk  
Tlf.: 8680 6344

**Ulla Boje Jensen**

Novafos  
Blokken 9, 3460 Birkerød  
e-mail: ubj@novafos.dk  
Tlf. 4137 5416

**Benedikte Foldby Jakobsen**

Rambøll A/S  
Hannemanns Allé 53, 2300 København S  
e-mail: bfja@ramboll.dk  
Tlf: 5161 1000

**Kristian Vestergaard**

Ingeniørhøjskolen Aarhus Universitet  
Energi- og miljødesign  
Inge Lehmanns Gade 10, 8000 Aarhus C  
e-mail: kv@ase.au.dk  
Tlf. 4189 3341

**Forside foto**

På Vestergade i Skanderborg har Kommunen og Forsyningen sammen klimasikret mod oversvømmelser og separatloakeret – resultatet er rekreative områder hvor vandet ledes til den nærliggende sø. Læs om historien [her](#)

---

**Udgiver**

Ingeniørforeningen, IDA – Spildevandskomiteen Erfaringsudveksling i Vandmiljøteknikken EVA.  
Indlæggene i bladet står for forfatterens egen regning, og Eva-udvalget er ikke nødvendigvis enig i den udtrykte holdning eller anbefaling.

**Hjemmeside**

[www.evanet.dk](http://www.evanet.dk)

**E-mail**

[evaudvalg@gmail.com](mailto:evaudvalg@gmail.com)

**Dette blads redaktør**

Kjartan Gunnarsson Ravn, [kjara@vejlespildevand.dk](mailto:kjara@vejlespildevand.dk)

**Næste blads redaktør**

Ulla Boje Jensen, [ubj@novafos.dk](mailto:ubj@novafos.dk)

**Deadline for indlæg**

Medio marts 2019

**Næste blad forventes udgivet**

April 2019

**Redaktion**

Margrethe Nedergaard, [margrethe\\_nedergaard@hotmail.com](mailto:margrethe_nedergaard@hotmail.com)

# Indhold

<b>Leder</b> .....	<b>5</b>
<b>Indbydelse til Temadag</b> .....	<b>6</b>
<b>Årsmøde</b> .....	<b>8</b>
<b>Cementstabilisering et solidt alternativ til renovering og etablering af åbne regn- og spildevandsbassiner</b>	
Martin Christensen .....	10
<b>Kalkstabilisering i ledningsgrave – det virker!</b>	
Finn Hjerrild Johansen .....	14
<b>Validering af eksisterende dimensionspraksis for LAR-anlæg ved hjælp af langtidssimuleringer</b>	
Karsten Arnbjerg-Nielsen og Hjalte Jomo Danielsen Sørup .....	16

## Kalender

### Faglige arrangementer

EVA-udvalget opfordrer til, at medlemmerne holder øje med faglige arrangementer på relevante hjemmesider (EVA-udvalget, DANVA, IDA Miljø, Ferkvandscenteret m.fl.)

EVA-udvalget søger at placere temadage så de ikke konflikter med andre større fagligt relevante arrangementer.







På Vestergade i Skanderborg har Kommunen og Forsyningen sammen klimasikret mod oversvømmelser og separatkloakeret – resultatet er rekreative områder hvor vandet ledes til den nærliggende sø. Læs om historien [her](#)



# Leder

## Bæredygtig spildevandshåndtering – nu og i fremtiden

"Den sidste temadag blev afholdt 20. september 2018 på Nyborg Strand. Her var fokus på nye anlægsteknikker, noget som ikke har været et fremherskende tema på de sidste mange temamøder. Det viste sig at være god interesse for emnet, der dukkede således 80 deltagere og fordragsholdere op til dagen. Noget som vi i EVA udvalget også kunne glæde os over var at deltagerkaren var en lille smule anderledes sat sammen en ofte før. Der var flere anlægsfolk, producenter og ikke mindst entreprenører. Samtlige oplægsholdere kom til dagen med god energi og det var tydeligt at de havde noget på hjertet og ville ud over rampen. Det kom de så også, der var stor spørgelyst og gode diskussioner så det var sin sag at være ordstyrer i det selskab! Tak til alle jer deltog. Her i bladet finder du en række artikler der uddyber nogle af indlæggene fra temadagen.

Den næste temadag er lige om hjørnet, den bliver afholdt **d. 28. februar 2019** på Hotel Nyborg Strand. På temadagen afholdes endvidere EVA udvalgets årsmøde. Se mere om årsmødet har i bladet. Emnet for mødet er denne gang "Bæredygtig spildevandshåndtering – nu og i fremtiden". Som titlen antyder så står vejen frem til bæredygtig spildevandshåndtering ikke altid lysende klar. En række fremragende oplægsholdere vil give deres bidrag til de forskellige problemstillinger vi står over for. Sidst men ikke mindst har vi fået fremtidsforsker Jesper Bo Jensen, FremForsk – Center for fremtidsforskning, til at komme og gøre os klogere på fremtidens spildevandshåndtering.

Vi håber at vi ses til en rigtig spændende dag på Hotel Nyborg Strand  
– det bliver godt!

**Vel mødt i Nyborg!**  
**EVA-udvalget**

EVA-udvalget indbyder til

# EVA-temadag

Torsdag den 28. februar 2019, Hotel Nyborg Strand

---

## Bæredygtig spildevandshåndtering – nu og i fremtiden

Der har gennem mange år i Danmark været tradition for at anvende separatkloak som det primære kloakeringsprincip i forbindelse med nye spildevandsanlæg og også som en praksis, hvor eksisterende fælleskloakerede oplande er blevet ændret til separatkloakerede.

I lyset af de synlige klimaforandringer, som medfører hyppigere hændelser med ekstremregn, er der ved at udvikle sig en ny praksis, hvor separatkloakering ikke er den første og mest indlysende løsning på afledning af husspildevand og regnvand.

Der er et stigende ønske om at finde frem til løsninger, som kan håndtere både hverdags- og ekstremregn blandt andet i samarbejde med byplanlæggere, vejmyndigheder og forsyninger. Alt sammen på en bæredygtig måde, hvor anlæg til forsinkelse af regnvand også kan bruges i tørvejr, og hvor udformning af vejanlæg spiller en stigende rolle.

Der er mange barrierer, som hindrer og forsinker udviklingen af bæredygtige løsninger, så der er brug for en tænke- og udviklingspause, hvor vi ser nærmere på, hvordan vi kan udnytte eksisterende kloakker og tage højde for fremtidigt behov for rensning af regnvand inden det udledes til vandområderne.

På temamødet vil vi præsentere resultatet af et ph.d.-projekt, som undersøger påvirkningen på omgivelserne fra forskellige afløbssystemer og om håndtering af regnvand på overfladen.

Derefter sætter vi fokus på, hvordan vi kan reducere belastningen på vandmiljøet fra fælleskloakken ved samstyring mellem renseanlæg og opland, og på "50-års Strategi for vand og spildevand" i HOFOR's forsyningsområde. Vi hører også om, Miljøstyrelsens vejledning: "Best Practice til kortlægning samt reduktion af overløb fra fælleskloakerede afløbssystemer"

Vi slutter temadagen med **et rigtig spændende indlæg v. fremtidsforsker Jesper Bo Jensen** om fremtidens rensning og håndtering af spildevand – herhjemme og internationalt.

Undervejs er der årsmøde med beretning fra formanden og valg af bestyrelsesmedlemmer.

**Vel mødt!**  
**EVA-Udvalget**



## Program

- 9:30 Kaffe/rundstykker**
- 9:50 Velkomst, indledning**  
Introduktion til dagens emne  
**v. Ulla Boje Jensen, EVA udvalget**
- 9:55 Environmental impacts of different stormwater management systems**  
Resultater fra et nyt ph.d.-projekt hos Vandcenter Syd. Oplægget er på engelsk, men spørgsmål kan stilles på dansk.  
**v. Sarah Brudler, Vandcenter Syd**
- 10:25 Separering i overfladen ved byggemodninger og i eksisterende kloakoplande**  
Hvad kan vi opnå med det?  
**v. Morten Østergaard Nielsen, Aarhus Vand**
- 10:55 Pause**
- 11:10 Best Practice til kortlægning samt reduktion af overløb fra fælleskloakerede afløbssystemer**  
Miljøstyrelsen, Teknisk notat, oktober 2017.  
**v. Ole Mark, DHI**
- 11:40 Samstyring mellem renseanlæg og opland**  
Case fra hovedstaden  
**v. Carsten Thiersing, BIOFOS**
- 12:10 Frokost**
- 13:10 50-års Strategi for vand og spildevand**  
Samarbejde om fremtidige spildevandsløsninger mellem miljømyndighed, renseanlæg og opland  
**v. BIOFOS, HOFOR, Københavns Kommune og COWI**

### Deltagergebyr

Medlem af EVA  
1300 kr.

Øvrige  
1500 kr.

Ingeniører,  
Ikke medlem af IDA  
3450 kr.

Studerende gratis

### Tilmelding

Tilmeld dig på  
IDAs hjemmeside

### Hvor du opgiver

- Arrangement nr.
- Navn
- Adresse
- Tlf. nr.
- E-mail
- Helst fødselsdato
- Oplysning om du er ingeniør eller ej.

(Arrangementet er åbent for alle)

**13:55    Årsmøde**

**v. Jakob Badsberg Larsen,  
Formand for EVA udvalget**

1. Valg af dirigent
2. Bemærkninger til dagsordenen
3. Formandens beretning
4. Fremlæggelse af regnskab
5. Valg af udvalgsmedlemmer\*
6. Eventuelt

\*Kristian Vestergaard har været medlem af bestyrelsen i 2 x 3 år og kan derfor ikke genopstille.  
Agnethe Nedergaard Pedersen er på valg for en ny treårig periode. Bestyrelsen foreslår genvalg.

Forslag til kandidater fremsendes til Jakob Badsberg Larsen (jla@niras.dk) og Agnethe Nedergaard Pedersen (anp@vandcenter.dk) senest 20. februar 2019.

**14:10    Kaffe****14:25    Fremtidens afledning og rensning af spildevand**

Hvordan ser fremtiden for spildevandshåndtering ud herhjemme og internationalt?

**v. Fremtidsforsker Jesper Bo Jensen,  
FremForsk – Center for Fremtidsforskning**

**15:25    Afrunding og afsluttende bemærkninger**

**v. Ulla Boje Jensen, EVA udvalget**

**15:30    Tak for denne gang og kom godt hjem**





**VERDENSMÅL**  
for bæredygtig udvikling





# Cementstabilisering et solidt alternativ

*til renovering og etablering af  
åbne regn- og spildevandsbassiner*



Af: Martin Christensen,  
seniorprojektchef, Rambøll Vand

En udskudt projektopstart og en usædvanlig våd sommer tvang et projektteam, Novafos, Arkil og Rambøll til at tænke i nye baner, da et 30-år gammelt åbent spildevandsbassin skulle renoveres i Værløse. Projektet endte med at bekræfte, at cementstabilisering er et gangbart alternativ til den traditionelle tilgang.

I Furesø ved genbrugsstationen i Værløse har Novafos flere åbne spildevandsbassiner. I 2016 vurderede man at det ene af disse bassiner var blevet så utæt og havde fået så alvorlige sætningsskader pga. 12 m underliggende silt og tørvlag, at tiden var inde til at foretage en gennemgribende renovering. Placeringen ovenpå et grundvandsreservoir og den deraf følgende risiko for, at spildevandet kunne trænge ned til grundvandet, gjorde ikke behovet for renovering mindre aktuelt.

Rambøll blev tildelt opgaven fra Novafos, og aftalen blev som udgangspunkt, at bassinet skulle renoveres ved, at al eksisterende asfalt blev bortskaffet, og at der i stedet skulle etableres en ny tæt bassinbund med membran, dræn og asfalt. Løsningen blev valgt, da der ligger et bassin lige ved siden af hvor metoden er anvendt, og som har holdt i over 10 år. Derudover skulle der etableres et automatisk renholdelsessystem til bassinbunden, der hidtil var blevet holdt ren ved hjælp af kost og fejmaskine.



## Våd sommer

Asfaltering skal ske i tørt og varmt vejr, og projektet var derfor planlagt til at skulle gennemføres i foråret; marts til juni 2017. Omstændighederne ville imidlertid, at processen omkring myndighedstilladelse trak ud, og at startdatoen derfor blev udskudt. Samtidig fik vi i Danmark en af de vådeste somre i nyere tid, så da den eksisterende asfalt var skrællet af, blev grusbunden våd og nærmest gyngende og derfor umulig at asfaltere.

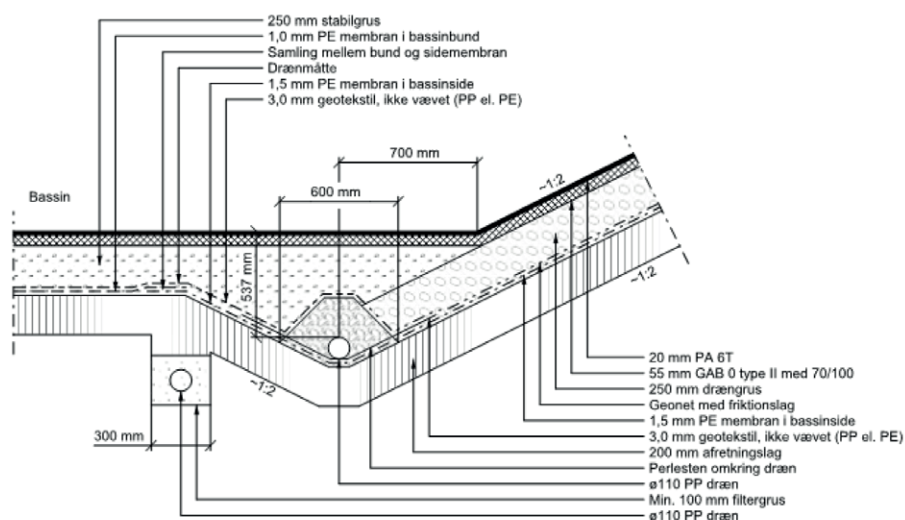
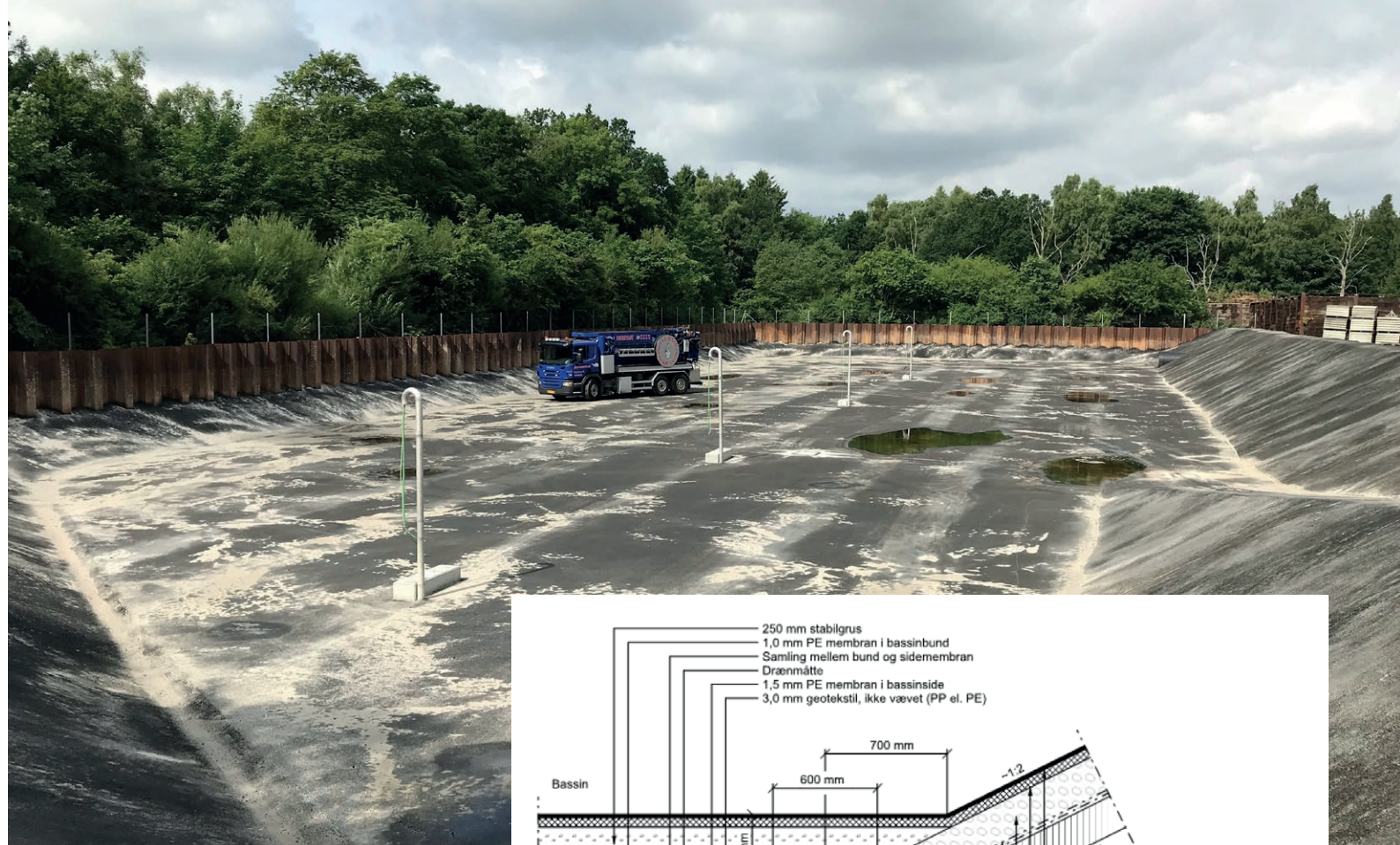
Regnvejret fortsatte og førte til flere oversvømmelser af området, og da der ikke var bedre vejr i sigte, stod det klart for projektteamet (Arkil, Novafos og Rambøll), at man var nødt til at angribe opgaven anderledes. Arkil som var udførende entreprenør på projektet foreslog metoden cementstabilisering, og efter flere drøftelser havde både Novafos og Rambøll det nødvendige mod til at afprøve metoden.

I stedet for den klassiske metode med sand, stabilgrus og asfalt faldt valget på 'cementstabilisering'. Cementstabiliseringsprocesser foregår ved, at man blander cement på stedet i meget sandholdig jord. Cementen stabiliserer jorden og giver så god en bæreevne, at teknikken kan benyttes ved mange forskellige typer af anlæg. I Danmark er metoden endnu ikke så udbredt som i andre lande som eksempelvis Finland, men den giver en god, stabil bund og er mere kosteffektiv end klassisk asfaltering.









## Stor rive og effektiv stavblender

I Værløse foregik det konkret på den måde, at vi fik revet jorden op med en stor rive. Derefter indsatte vi det, der bedst kan betegnes som en stor 'stavblender', som blandede cement med råjorden. Oven på blev der til sidst lagt et grusmateriale.

Vi startede med siderne af bassinet, og derefter kom turen til bunden. Hele bassinbunden var cementstabiliseret og klar til asfaltering i december måned, men da frosten også indtraf på det tidspunkt, lod de stå indtil foråret 2018, hvor man kunne asfaltere hurtigt og effektivt.

## Effektiv metode med flere fordele

Det renoverede bassin er for længst taget i brug, og lever fuldt ud op til forventningerne. I projektteamet kan vi derfor konstatere, at cementstabilisering er en driftssikker metode i udførelsesfasen, blandt andet fordi denne metode ikke er så påvirkelig af oversvømmelser og småregn, idet materialet – cementblandingen – er våd i forvejen.

Metoden rummer desuden de to fordele, at det dels er muligt at ilægge armeringsjern – hvilket vi dog endte med ikke at gøre – og at det er muligt at grave i betonpladen, hvilket kan være relevant i mange sammenhænge for at kunne lægge dræn ind.

Alt i alt har bassinrenovering via cementstabilisering vist sig som et solidt og gangbart alternativt, der med fordel kan tages i betragtning på lignende projekter i fremtiden.

# Kalkstabilisering i ledningsgrave

— *det virker*



Af: Finn Hjerrild Johansen  
EnviDan A/S

I virkeligheden er kalkstabilisering allerede en alment kendt metode blandt andet i forbindelse med udførelse af vejanlæg. Her anvendes kalken til at øge jordens bæreevne. Dette er særligt relevant for bløde og vandholdige ler- og siltholdige jorde, som har en dårlig bæreevne.

Metoden fungerer ved at kalken i leret og vandholdig jord reagerer med jordvandet samtidig med, at der udvikles varme. Varmen medfører, at jordens vandindhold sænkes yderligere. Desuden binder kalken sig til overfladen af lerpartiklerne og forårsager dermed en ændret struktur. I stedet for den ustabile pladestruktur, danner leret aggregater, som giver en mere løs og porøs struktur. Dermed bliver jorden nemmere at bearbejde og komprimere og bæreevnen forbedres betydeligt. Sådan fungerer det ved vejprojekter, og i forbindelse med et stort separatkloakeringsprojekt i Kjellerup fandt man ud af, at metoden faktisk også kan være med til at stabilisere jorden i ledningsgrave, og dermed undgå de store mængder overskudsjord.

## Partering gav tid og mulighed for at tænke nyt

I forbindelse med Silkeborg Forsynings ønske om at erstatte fælleskloakken med separatkloak i hele den ældre del af Kjellerup, hvor ca. 750 ejendomme er tilsluttet, blev der afsat 110 mio. kr. til projektet over en 6-årig periode. Samtidig ønskede Silkeborg Forsyning at afprøve partering som samarbejdsform, og efter en udbudsproces blev entreprenør Arkil A/S og totalrådgiver EnviDan A/S valgt som samarbejdspartnere.

Fordele ved at arbejde i partering er mange, og en af dem er, at man arbejder sammen over en længere periode og med så stor volumen i opgaverne, at der er mulighed for, ikke blot at udvikle nye metoder, men også at afprøve og høste gevinsterne inden for samme projektperiode. Dette var også tilfældet i Kjellerup, hvor man fandt ud af at der er store fordele ved at benytte kalkstabilisering i ledningsgrave. Først og fremmest kan man med kalkstabilisering genanvende råjorden uafhængigt af vejret. Dette betyder, at mindre jord skal deponeres og erstattes af sand. Samtidig undgås transporten til og fra udgravningsstedet og giver en miljømæssig gevinst, idet der kan opnås en stor CO<sub>2</sub>-besparelse.





### Metoden kort fortalt

Når der graves ud til ledninger, kan en del af jorden normalvis genanvendes som tilfyldning, mens overskudsjord køres bort til deponi. Er der derimod tale om lerholdigt jord, kan det være vanskeligt at komprimere jorden ved tilbagefyldningen. Dette er særligt i våde perioder, hvor lerets vandindhold forhindrer komprimering. I stedet er det nødvendigt at deponere jorden og anvende sand i tilfyldningszonen.

Kalkstabiliseringen gør det muligt, også at genanvende det lerholdige jord. I tilfyldningszonen udlægges råjorden i lag af op til 30 cm tykkelse. Efterfølgende tilsættes 1,5 % kalk svarende til ca. 9 kg kalk pr. m<sup>2</sup>. Jorden og kalken homogeniseres, og komprimeringen kan udføres som vanligt. Dette gentages indtil den ønskede indbygningshøjde er nået.



# Validering af eksist. dimensionspraksis for LAR-anlæg

*ved hjælp af langtidssimuleringer*



Af: Karsten Arnbjerg-Nielsen, DTU Miljø



Af: Hjalte Jomo Danielsen Sørup, DTU Miljø

LAR-anlæg dimensioneres normalt i Danmark ud fra Spildevandskomiteens LAR-regneark /1/ som ud fra en række antagelser dimensionerer anlæggene som var de små forsinkelsesbassiner med konstant udløb /2/. I dette studie foretages langtidssimuleringer for en række anlægsmuligheder for at fastslå, hvor velegnede de nuværende antagelser er til LAR-dimensionering.

## Indledning

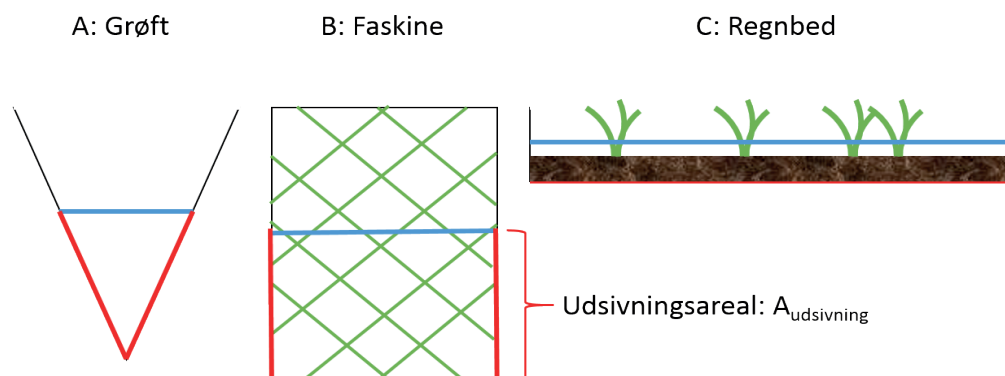
LAR-anlæg dimensioneres normalt i Danmark ud fra Spildevandskomiteens LAR-regneark /1/ som ud fra en række antagelser dimensionerer anlæggene som var de små forsinkelsesbassiner med konstant udløb /2/. Grundlæggende antages at grøfte og faskiner er 50% fyldte med vand når udsivningspotentialt, og dermed afløbstallet, fastlægges samt, at der tillægges 20% ekstra volumen til LAR-anlæggene for at tage højde for at LAR-anlæggene ikke er helt tømte ved start af dimensionsgivende hændelser på grund af koblede regnhændelser. Effekten af disse antagelser er ikke tidligere dokumenteret og i dette studie foretages langtidssimuleringer for en række anlægsmuligheder for at fastslå, hvor velegnede de nuværende antagelser er til LAR-dimensionering.

## Metode langtidssimuleringer

Der foretages langtidssimuleringer med to regnserier fra Spildevandskomiteens regnmålnetværk på hver 38 år fra henholdsvis Kolding (stationsnummer 5251) og Søborg (stationsnummer 5694). Disse repræsenterer en stor del af den observerede regionale forskel i både årsmiddelnedbør og ekstremer /3/. Der simuleres på time-niveau, dvs. at regntidsserierne aggregeres på timebasis og alle andre variable også modelleres i sammen tidsopløsning.

For hvert tidsskridt beregnes (1) hvor meget vand der tilgår LAR-anlægget som regnafledning, (2) udsivning i jorden fra LAR-anlægget, (3) hvor stort et volumen vand der efterfølgende er i LAR-anlægget og, (4) eventuelt overløb fra LAR-anlægget hvis (3) overstiger LAR-anlæggets opstuvningskapacitet.





**Figur 1**  
Udsivningsareal for forskellige typer af LAR-elementer (røde streger) for et givet vandniveau (blå streger).

### Udsivning

I dimensionssammenhæng antages udsivningen at være konstant fra alle typer af LAR-anlæg /2/ men her beregnes en tidsafhængig udsivning der for faskiners og grøftes vedkommende er afhængig af, hvor meget vand, der er opstuvet i LAR-anlægget. Det effektive udsivningsareal vil således for hvert tidsskridt blive fastlagt som illustreret på Figur 1 hvor vandspejlsniveauet i grøft og faskine styrer hvor stort det effektive nedrivningsareal er på et givet tidspunkt. I kontrast til dette regnes der for regnbeder med at bunden er helt plan og lig med udsivningsarealet uagtet mængden af vand i LAR-anlægget.

### Opbygning af casestudie

Der testes i en matrix hvor jordens nedrivningsevne, udtrykt ved den hydrauliske ledningsevne:  $k$ , gentagelsesperioden for hvor tit LAR-anlægget må være fyldt,  $T$ , lokaliteten og LAR-element typen varieres som:

- $k = [10^{-5}, 5 \cdot 10^{-6}, 10^{-6}, 5 \cdot 10^{-7}]$  [m/s]
- $T = [0.5, 1, 2, 5]$  [år]
- Lokalitet = [Kolding, Søborg]
- LAR – type = [Faskine, Regnbed, Rende]

Dette giver i alt 96 testede kombinationer. For hver kombination dimensioneres den pågældende LAR-type ud fra LAR-regnearket med et tilsluttet reduceret areal på 100 m<sup>2</sup>, en sikkerhedsfaktor på 1 og for de enkelte LAR-typer specifikke størrelser:

- For faskinen: brede = 1 m, højde = 1.3 m, hulrumsandel = 0.95 og ingen udsivning gennem bunden
- For regnbedet: samlet areal = 10 m<sup>2</sup>
- For grøften: kronebrede = 1 m og længde = 10 m

## Beregning af opstuvningsvolumen for forskellige typer af LAR-anlæg

**Grøfter antages at være v-formede, ligesom i dimensioneringen, og opstuvningsvolumenet beregnes som:**

$$V_{\text{grøft}} = 1/2 * \text{højde} * \text{længde} * \text{kronebrede}$$

**Ligning 1**

Hvor længde og kronebrede er inputparametre men højden dimensioneres af LAR-regnearket /1/.

**Faskiners opstuvningsvolumen beregnes som:**

$$V_{\text{faskine}} = \text{højde} * \text{brede} * \text{længde} * \text{hulrumsandel}$$

**Ligning 2**

Hvor højde, brede og hulrumsandel er inputparametre mens længden dimensioneres af LAR-regnearket.

**For regnbede beregnes opstuvningsvolumenet som:**

$$V_{\text{regnbet}} = \text{anlægsareal} * \text{dybde}$$

**Ligning 3**

Hvor anlæggets areal er inputparameter og dybden beregnes af LAR-regnearket.

### Boks 1

Til sammenligning mellem LAR-typer beregnes det dimensionerede opstuvningsvolumen, se Boks 1, det maksimale udsivningsareal svarende til at hele opstuvningsvolumenet er fyldt med vand, den observerede gentagelsesperiode for overløb, median fyldningsgraden ved start af dimensionsgivende hændelser samt den gennemsnitslige fyldningsgrad gennem hele simuleringsperioden.

## Resultater

### Dimensionerede volumener og infiltrationsoverflader

Dimensioneringen resulterer i opstuvningsvolumenerne angivet i Tabel 1 og de maksimale infiltrationsoverflader ved vandfyldte LAR-anlæg givet i Tabel 2. Det ses, at forsøget resulterer i en række LAR-løsninger der dækker et stort antal løsninger med et meget stort spænd i de to størrelser. Opstuvningsvolumenerne er meget sammenlignelige mellem de forskellige løsninger for ens nedsivningsevner og gentagelsesperioder mens nedsivningsarealerne er meget forskellige.

### Resultat af langtidssimuleringer

Ud fra langtidssimuleringerne fastlægges hvor ofte de enkelte LAR-anlæg oplever overløb og det relateres til designkravet, gentagelsesperioden T, så der beregnes en effektiv gentagelsesperiode for hvert enkelt anlæg (Tabel 3). Faskiner har generelt problemer med at leve op til designkravet og LAR-løsninger i jord der er mindre egnet til nedsivning (lave k-værdier) oplever ligeledes problemer. Der observeres desuden kun små forskelle mellem Øst- og Vestdanmark og de associerede variationer i regninput.

Fra langtidssimuleringerne udtrækkes endvidere data om hvor meget vand der er i LAR-anlæggene når de dimensionsgivende regnhændelser begynder (Tabel 4) og i gennemsnit igennem simuleringerne (Tabel 5).



	Kolding ( $\dot{A}MN = 824 \text{ mm}$ )					Søborg ( $\dot{A}MN = 664 \text{ mm}$ )				
	$K \text{ [m/s]}$ $T \text{ [år]}$	$5 \cdot 10^{-7}$	$10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$10^{-5}$	$K \text{ [m/s]}$ $T \text{ [år]}$	$5 \cdot 10^{-7}$	$10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$10^{-5}$
Faskine	0.5	4.1	3.3	1.9	1.5	0.5	3.9	3.1	1.8	1.4
	1	4.8	3.9	2.4	1.9	1	4.9	4.0	2.4	1.9
	2	5.6	4.6	2.9	2.3	2	6.0	4.9	3.0	2.4
	5	6.7	5.6	3.7	3.0	5	7.5	6.2	3.9	3.1
Regnbed	0.5	3.7	2.7	1.3	1.0	0.5	3.4	2.6	1.3	0.9
	1	4.6	3.5	1.8	1.4	1	4.7	3.5	1.8	1.3
	2	5.7	4.4	2.4	1.8	2	6.1	4.7	2.4	1.8
	5	7.2	5.7	3.3	2.6	5	8.3	6.4	3.5	2.6
Grøft	0.5	3.8	3.0	1.7	1.3	0.5	3.6	2.9	1.6	1.2
	1	4.5	3.7	2.2	1.7	1	4.6	3.7	2.2	1.7
	2	5.3	4.4	2.7	2.2	2	5.6	4.6	2.8	2.2
	5	6.5	5.4	3.5	2.8	5	7.1	5.8	3.6	2.9

**Tabel 1**

Opstuvningsvolumener af de testede løsninger i  $\text{m}^3$ . Volumener over  $4 \text{ m}^3$  markeret med grøn og volumener under med rød for at fremhæve at alle typologier fører til sammenlignelige opstuvningsvolumener for ens nedslivningsevner og gentagelsesperioder.

	Kolding ( $\dot{A}MN = 824 \text{ mm}$ )					Søborg ( $\dot{A}MN = 664 \text{ mm}$ )				
	$K \text{ [m/s]}$ $T \text{ [år]}$	$5 \cdot 10^{-7}$	$10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$10^{-5}$	$K \text{ [m/s]}$ $T \text{ [år]}$	$5 \cdot 10^{-7}$	$10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$10^{-5}$
Faskine	0.5	10.7	9.0	6.3	5.5	0.5	10.3	8.7	6.1	5.3
	1	12.1	10.3	7.2	6.3	1	12.3	10.4	7.2	6.2
	2	13.7	11.7	8.2	7.2	2	14.4	12.2	8.4	7.2
	5	15.9	13.7	9.8	8.5	5	17.5	14.8	10.2	8.8
Regnbed	0.5	10	10	10	10	0.5	10	10	10	10
	1	10	10	10	10	1	10	10	10	10
	2	10	10	10	10	2	10	10	10	10
	5	10	10	10	10	5	10	10	10	10
Grøft	0.5	19.0	16.3	12.4	11.5	0.5	18.3	15.8	12.2	11.4
	1	21.7	18.5	13.7	12.4	1	21.9	18.6	13.6	12.3
	2	24.6	21.0	15.3	13.6	2	25.8	21.8	15.4	13.7
	5	29.0	24.9	17.8	15.7	5	31.6	26.6	18.4	16.0

**Tabel 2**

Maksimal infiltrationsoverflade af de testede løsninger i  $\text{m}^2$ . Overflader under  $12 \text{ m}^2$  markeret med rød og overflader over markeret med grønt. De forskellige typologier dækker forskellige spænd i nedslivningsoverflader.

	Kolding ( $\dot{A}MN = 824 \text{ mm}$ )					Søborg ( $\dot{A}MN = 664 \text{ mm}$ )				
	$K \text{ [m/s]}$ $T \text{ [år]}$	$5 \cdot 10^{-7}$	$10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$10^{-5}$	$K \text{ [m/s]}$ $T \text{ [år]}$	$5 \cdot 10^{-7}$	$10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$10^{-5}$
Faskine	0.5	0.1	0.2	0.4	0.5	0.5	0.2	0.4	0.4	0.4
	1	0.2	0.4	1.0	1.0	1	0.4	0.7	0.9	1.0
	2	0.3	1.2	1.7	2.0	2	0.8	1.3	1.8	1.5
	5	1.4	3.8	4.8	6.3	5	2.2	4.8	5.4	4.8
Regnbed	0.5	0.3	0.7	0.9	1.1	0.5	0.4	0.7	0.8	1.0
	1	0.5	1.7	2.2	2.9	1	0.7	1.3	1.3	1.7
	2	1.0	4.8	4.8	7.6	2	1.2	3.2	2.9	3.5
	5	2.7	38.0	7.6	7.6	5	2.4	7.6	12.7	9.5
Grøft	0.5	0.4	0.6	0.7	0.7	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6
	1	0.8	1.5	1.5	1.5	1	1.0	1.3	1.1	1.2
	2	2.0	3.5	3.2	2.9	2	2.2	2.7	2.7	2.0
	5	9.5	12.7	9.5	7.6	5	6.3	9.5	9.5	7.6

**Tabel 3**

Gentagelsesperiode i år på overløb for de testede hændelser fra LTS-simuleringer under antagelse at der skal være minimum 24 timer uden overløb mellem individuelle overløb. Værdier der lever op til designkriteriet er markeret med grønt mens værdier der ikke gør er markeret med rød. Værdien på 38 år (svarende til ét overløb) er verificeret som værende et meget langt overløb der inkluderer en række af de største hændelser i regnserien.





På trods af det er det kun for de anlæg med allerstørst volumen (dem i jord med den laveste k-værdi) hvor regnbodede oplever problemer med at leve op til dimensioneringskravet (Tabel 3) selvom ratioerne flere steder er lavere end for faskinerne. Disse ratioer kan således ikke bruges direkte til at give et fingerpeg om hvorvidt et anlæg overholder dimensioneringskravet eller ej.

	Kolding (ÅMN = 824 mm)					Søborg (ÅMN = 664 mm)				
	K [m/s] T [år]	$5 \cdot 10^{-7}$	$10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$10^{-5}$	K [m/s] T [år]	$5 \cdot 10^{-7}$	$10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$10^{-5}$
Faskine	0.5	41%	26%	8%	4%	0.5	36%	22%	6%	4%
	1	38%	23%	7%	4%	1	31%	19%	5%	3%
	2	34%	21%	6%	3%	2	27%	16%	5%	3%
	5	30%	18%	5%	3%	5	23%	13%	4%	2%
Regnbed	0.5	15%	5%	0%	0%	0.5	9%	4%	0%	0%
	1	13%	4%	0%	0%	1	8%	3%	0%	0%
	2	12%	3%	0%	0%	2	7%	2%	0%	0%
	5	10%	3%	0%	0%	5	6%	2%	0%	0%
Grøft	0.5	25%	15%	4%	2%	0.5	21%	12%	3%	2%
	1	22%	13%	4%	2%	1	18%	11%	3%	2%
	2	20%	11%	3%	2%	2	15%	9%	3%	1%
	5	17%	10%	3%	2%	5	13%	7%	2%	1%

**Tabel 5**

Gennemsnitlig fyldningsgrad i procent igennem tidsserien. Værdier under 20% markeret i grønne celler og værdier over 20% i røde celler. Faskiners og grøfters effektive nedsivningsareal er afhængig af fyldningsgraden hvilket betyder at anlæggene aldrig tømmes helt og i gennemsnit er mere fyldte end regnbode.

	Kolding (ÅMN = 824 mm)					Søborg (ÅMN = 664 mm)				
	K [m/s] T [år]	$5 \cdot 10^{-7}$	$10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$10^{-5}$	K [m/s] T [år]	$5 \cdot 10^{-7}$	$10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$10^{-5}$
Faskine	0.5	2.60	2.75	3.30	3.65	0.5	2.63	2.79	3.36	3.73
	1	2.51	2.63	3.04	3.30	1	2.50	2.63	3.04	3.31
	2	2.44	2.54	2.86	3.05	2	2.41	2.51	2.83	3.03
	5	2.37	2.44	2.68	2.82	5	2.33	2.40	2.64	2.79
Regnbed	0.5	2.73	3.68	7.47	10.34	0.5	2.91	3.91	7.88	10.90
	1	2.17	2.85	5.47	7.37	1	2.13	2.84	5.55	7.56
	2	1.77	2.28	4.17	5.49	2	1.63	2.15	4.09	5.49
	5	1.39	1.75	3.03	3.90	5	1.21	1.56	2.87	3.79
Grøft	0.5	4.98	5.39	7.38	9.03	0.5	5.06	5.50	7.62	9.38
	1	4.77	5.04	6.31	7.35	1	4.75	5.03	6.33	7.42
	2	4.62	4.81	5.65	6.33	2	4.58	4.76	5.60	6.30
	5	4.49	4.61	5.12	5.52	5	4.44	4.55	5.05	5.46

**Tabel 6**

Nedsivningsareal til volumen ratio [m<sup>-1</sup>]. Ratioer under 3 markeret med rød og ratioer over markeret med grønt.

## Konklusion

Resultaterne af dette studie peger på at eksisterende praksis generelt resulterer i veldimensionerede LAR-anlæg. De antagelser der indgår i dimensioneringen har dog systematisk forskellig effekt på forskellige typer af anlæg.

Faskiner bliver systematisk underdimensioneret da antagelsen om at de altid har en udsivning svarende til at de er 50% fyldt resulterer i at de får for lave udsivningsarealer i forhold til opstuvningsvolumen (Tabel 6). For lave nedsivningsrater er underdimensioneringen betydelig og der vil beregningsmæssigt i store perioder være væsentlige mængder vand i faskinen. Den samme antagelse for grøfter har den modsatte effekt da disse på grund af udformningen får en væsentlig større infiltrationsoverflade/opstuvningsvolumen-ratio for samme opstuvningsvolumen. Dette kunne betyde at antagelserne kunne justeres så der antages en mindre fyldningsgrad når udsivningen og afløbstatlet fastlægges for at sikre en dimensionering der lever op til dimensioneringskravet. At der antages tæt bund i faskinedimensioneringen og i langtidssimuleringerne indebærer dog, at i praksis vil udsivningen ske hurtigere og dermed er dimensioneringen tættere på at være retvisende. Beregningerne tyder dog på, at for lave nedsivningsrater kunne dynamiske simuleringer give et mere retvisende billede af faskiners effektivitet.

Alle typer af LAR-anlæg bliver dårligere dimensioneret når jordens ledningsevne bliver mindre og opholdstiderne i LAR-anlæggene stiger. Dette bør medføre at der ikke anlægges LAR-anlæg i jord med dårlig nedsivningsevne da tømmetiderne her bliver så lange at anlæggene reelt aldrig tømmes for vand og er delvist vandfyldte når de dimensionsgivende hændelser sker; også mere end 20 % som antaget i dimensioneringen.

At fordampning fra LAR-anlæggene ikke medtages i dimensioneringen vil kun understøtte at de åbne LAR-anlæg (regnbede og grøfte) bliver overdimensioneret mens faskinerne bliver underdimensioneret.

Generelt har forskellige typer af LAR-anlæg forskellige opstuvnings- og udsivningskarakteristika hvilket gør det meget relevant at lave serieforbundne anlæg der udnytter denne variation til at skabe samlede anlæg der bedst muligt udnytter både overfladearealer og jordbundsforhold. Der mangler dog for nuværende dimensionspraksis for sådanne serieforbundne anlæg.

Dette studie er udført som en del af projektet: "Innovationsprojekt om ny LAR-beregner" mellem Kumulus og DTU Miljø som er en del af VIS-projektet (Vand Innovation I SMVer) finansieret af den Europæiske Fond for Regionaludvikling (RFH-15-0011) og Region Hovedstaden (15006962).

## Referencer

### /1/ Dimensionering af LAR-anlæg,

Spildevandskomiteen, Ingeniørforeningen i Danmark. 2015.

### /2/ Skrift 25

– Nedsivning af regnvand – Dimensionering, Spildevandskomiteen, Ingeniørforeningen i Danmark. 1994.

### /3/ Skrift 30

– Opdaterede klimafaktorer og dimensionsgivende regnintensiteter, Spildevandskomiteen, Ingeniørforeningen i Danmark. 2014.







# EVA studierejselegat

---

*for studerende på de videregående  
uddannelsesinstitutioner*

Studerer du indenfor det faglige område, som EVA-udvalget normalt dækker gennem temadage, og har du mod på at rejse ud i verden og hente ny viden med hjem til Danmark og videreformidle denne viden, da har du mulighed for at søge det nye EVA-studierejselegat.





## Formål

- At medvirke til at studerende opsøger ny/nyeste viden indenfor EVA-udvalgets faglige interesseområder gennem deltagelse i seminarer, kurser på udenlandske universiteter, udstillinger, studie-ture, studie/praktikophold eller lignende
- At dygtiggøre danske studerende og give dem international indsigt
- At medvirke til at der bringes ny viden og inspiration med hjem til Danmark, og at denne formidles til EVA's medlemmer gennem et mundtligt indlæg på en EVA-temadag og et skriftligt indlæg i EVA-bladet.

## Vilkår

1. Legatet kan søges af danske studerende, som har gennemført mindst 2 år af en dansk videregående uddannelse og indenfor en EVA-relevant studieretning
2. Legatet kan kun søges individuelt, dvs. af enkeltpersoner, og kan kun tildeles den samme person én gang
3. Legatet kan tildeles til deltagelse i fagrelevant aktivitet
4. Ansøgning med kort beskrivelse af aktiviteten og det forventede udbytte heraf, vedlagt budget og udtalelse/anbefaling fra studiested kan løbende fremsendes pr. mail til EVA-udvalget, se yderligere information herom på [evanet.dk](http://evanet.dk). Der findes ikke noget ansøgningsskema. Eventuelle spørgsmål kan rettes til EVA-udvalget
5. Legatet kan maksimalt være på DKK 20.000,-
6. Alle ansøgninger besvares personligt direkte til ansøgeren når afgørelsen er truffet
7. EVA-udvalget afgør suverænt eventuelle tvivlsspørgsmål vedrørende opfyldelse af ovennævnte vilkår
8. Legatmodtageren fremsendes umiddelbart efter aktiviteten en kort skriftlig redegørelse, indeholdende et kort resume af aktiviteten og en evaluering af udbyttet for legatmodtageren
9. Et studierejselegat er som udgangspunkt skattefrit, men legatet indberettes til SKAT, hvilket betyder at legatmodtageren er pligtig til at gemme de nødvendige dokumenter/bilag til dokumentation af de afholdte udgifter
10. På normalt næstkommende EVA-temadag afholder legatmodtageren et fagligt indlæg, baseret på deltagelse i aktiviteten, samt leverer et skriftligt indlæg til det efterfølgende EVA-blad.

